



Теплообмін у газовому тракті парових котлів

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>142 Енергетичне машинобудування</i>
Освітня програма	<i>ОПП Інженерія і комп'ютерні технології теплоенергетичних систем</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>III курс, весняний</i>
Об'єм дисципліни	<i>4 кредити ЄКТС (120 годин), 54 години лекцій, 18 годин практичні заняття, 48годин самостійна робота</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>залік, модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., професор, Туз Валерій Омеляннович, valeriituz56@gmail.com Практичні, комп'ютерний практикум: Федоров Дмитро Олегович, Лабораторні: не передбачено</i>
Розміщення курсу	<i>https://campus.kpi.ua, https://drive.google.com/drive/u/1/my-drive</i>

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Предмет навчальної дисципліни процес теплообміну в газовому тракті парових котлів

Основною задачею, яка стоїть перед теплоенергетикою в світі є розробка обладнання паротурбінних установок, які працюють на ульракритичних параметрах, що дозволить підвищити ККД обладнання ТЕС майже у півтори рази. Рішення цієї задачі пов'язано з розробкою певної конструкції парового котла, яка розв'язує проблеми тепломасообміну, гідро- і аеродинаміки та міцності його елементів. Для створення такого обладнання необхідно мати знання, уміння і компетентності в області теплообміну і гідродинаміки складних систем.

Метою навчальної дисципліни є формування здатностей (компетентностей), які аспірант набуде після вивчення дисципліни:

Здатність застосовувати стандартні методи розрахунку при проектуванні деталей і вузлів енергетичного і технологічного обладнання. **ФК 4.**

Здатність розробляти енергозберігаючі технології та енергоощадні заходи під час проєктування та експлуатації енергетичного і теплотехнологічного обладнання. **ФК 5.**

Здатність вибирати основні й допоміжні матеріали та способи реалізації основних тепло-технологічних процесів при створенні нового обладнання в галузі енергомашинобудування і застосовувати прогресивні методи експлуатації теплотехнологічного обладнання для об'єктів енергетики, промисловості і транспорту, комунально-побутового та аграрного секторів економіки. **ФК 6.**

Здатність визначати режими експлуатації енергетичного та теплотехнологічного обладнання та застосовувати способи раціонального використання сировинних, енергетичних та інших видів ресурсів. ФК 8.

Здатність продемонструвати знання характеристик і властивостей обладнання, процесів і матеріалів в галузі енергетичного машинобудування. ФК 15.

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

Розуміння застосовуваних методик проектування і дослідження, а також їх обмежень відповідно до спеціалізацій спеціальності 142 Енергетичне машинобудування ПРН 11.

Використовувати обладнання, матеріали та інструменти, інженерні технології і процеси, а також розуміння їх обмежень відповідно до спеціалізацій спеціальності 142 Енергетичне машинобудування. ПРН 13.

Застосовувати норми інженерної практики відповідно до спеціалізацій спеціальності 142 Енергетичне машинобудування. ПРН 14.

Класифікувати теплообмінне обладнання за різними ознаками і відповідно до заданих умов роботи теплообмінного обладнання, вибирати паливо і теплоносії, використовувати стандартні методики для виконання конструкторських і повіркових розрахунків тепло- і паро-генеруючих установок і теплоенергетичного обладнання. ПРН 22.

Визначати та аналізувати теплогідравлічні та аеродинамічні характеристики роботи енергетичного і технологічного обладнання в умовах зміни режимних та експлуатаційних параметрів. ПРН 23.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Дисципліна базується на знаннях, отриманих при вивченні дисциплін: Тепломасообмін, Технічна термодинаміка, Теплообмін при фазових перетвореннях і випромінюванні, Парові та водогрійні котли.

Дисципліни, які базуються на результатах навчання з даної дисципліни: дипломне проектування, вибіркові компоненти ОП

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Теплове випромінювання газоподібних продуктів спалювання.

Тема 1.1. Спектральні радіаційні характеристики вуглекислого газу та водяної пари.

Тема 1.2. Степінь чорноти вуглекислого газу і водяної пари. Радіаційні характеристики та інтегральна поглинальна спроможність CO₂, H₂O, CO і SO₂

Тема 1.3. Радіаційні характеристики дисперсних систем.

Розділ 2. Теплове вимірювання факелу.

Тема 2.1. Структура факела і первинні радіаційні характеристики його твердої дисперсної фази.

Тема 2.2. Степінь чорноти топкової камери і факела при спалюванні твердого палива.

Тема 2.3. Теплове випромінювання сажистого полум'я мазуту і газу. Характеристики теплового випромінювання топкової камери для різних палив і їх комбінацій.

Розділ 3. Сумарний теплообмін в топковій камері.

Тема 3.1. Основи інженерних методів розрахунку.

Тема 3.2. Тепловий опір та радіаційні характеристики шару забруднень на екранних трубах.

Тема 3.3. Передача енергії випромінювання в об'ємі топкової камери з випромінюючими і відбиваючими стінками.

Тема 3.4. Коефіцієнт теплової ефективності екранів. Ефективна степінь чорноти неізотермічно-го плоского шару.

Розділ 4. Розрахунок основних розмірів топкової камери.

Тема 4.1. Розрахунок розмірів зони активного горіння в топках з рідким і твердим шлаковида-ленням.

Тема 4.2. Розрахунок вигоряння пиловугільного факелу і об'єму топкової камери з урахуванням вимог процесу горіння.

Тема 4.3. Температура газів на виході з топкової камери.

Тема 4.4. Розрахунок топкової камери при згорянні газу і мазуту.

Тема 4.5. Позонний розрахунок топкової камери.

Тема 4.6. Конструкції топкових камер і пальників для спалювання вугільного пилу.

Тема 4.7. Утворення і методи зниження кількості оксидів азоту.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова (підручники, навчальні посібники) література.

1. Блох А.Г. Теплообмен в топках паровых котлов. Л., Энергоатомиздат, 1984, 240 с.
2. Липов Ю.М., Самойлов Ю.Ф., Модель З.Г. Компоновка и тепловой расчет парогенератора. Учебное пособие для вузов. - М.: Энергия, 1975, 176 с.
3. Методические указания по проектированию топочных устройств энергетических котлов. - С-П.: АООТ "НПО ЦКТИ", 1996, 270 с.
4. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). - С-П: НПО ЦКТИ - ВТИ, 1998, 256 с.
5. Орнатский А.П., Дашкиев Ю.Г., Перков В.Г. Парогенераторы сверхкритического давления. - Киев: Вища школа, 1980, 288 с.
6. Кроль Л.Б., Розенгауз И.Н. Конвективные элементы мощных котельных агрегатов. М.: Энергия. 1976, 248 с.

Додаткова (монографії, статті, документи, електронні ресурси) література.

1. Хзмалян Д.М., Качан Я.А. Теория горения и топочные устройства. Под ред. Д.М. Хзмаляна. Учсб. Пособие для студентов высш. учеб. заведений. - М.: Энергия, 1976, 488 с.
2. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. - М.: Энергия, 1981, 434 с.
3. Вукалович. Техническая термодинамика.
4. Идельчик И.Е. Аэродинамика технологических аппаратов. - М.: Машиностроение, 1983, 351 с.
5. Оребренные поверхности нагрева паровых котлов /Г.И. Левченко, И.Д. Лисейкин, А.М. Копелиович и др. - М.: Энергоатомиздат, 1986, 168 с.
6. Ковалев А.П. и др. Парогенераторы: Учебник для вузов /А.П. Ковалев, Н.С. Лелеев, Т.В. Виленский: Под общ. ред. А.П. Ковалева. - М.: Энергоиздат, 1985, 376 с.
7. Бычковский А.Л. Утепляющие экраны парогенераторов. - М.: Машиностроение, 1976, 112 с.
8. Кузнецов Н.В. Рабочие процессы и вопросы усовершенствования конвективных поверхностей котельных агрегатов. - М.-Л: Госэнергоиздат, 1958, 172 с.
9. Эксплуатационная надежность пароперегревателей котлов и методы ее прогнозирования: Учебное пособие /Ю.Г. Дашкиев, Е.Е. Никитин, Г.П. Полупан. - К.: УМК ВО, 1989, 92 с.
10. Котлы-утилизаторы и энерготехнологические агрегаты /А.П. Волков и др. - М.: Энергоиздат, 1989. - 272 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Згідно навчального плану для опанування матеріалу дисципліни передбачено лекційні заняття

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
Розділ 1. Теплове випромінювання газоподібних продуктів спалювання.	
1.	<p><u>Тема 1.1. Спектральні радіаційні характеристики вуглекислого газу та водяної пари.</u></p> <p>Лекція № 1. Світлимість газів. Властивості газоподібних продуктів згорання органічного палива. Спектральна степінь чорноти газів і її залежність від товщини шару, тиску і температури. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [1, с. 17 ÷ 30], [7, 12] додаткова – [8]. Завдання на СРС: Закон випромінювання Планка. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p>
2.	<p>Лекція № 2. Інтегральні радіаційні характеристики CO_2 і H_2O. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [1, с. 17 ÷ 30], [7, 12] додаткова – [8]. Завдання на СРС: Практичне використання закону випромінювання Планка. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p>
3.	<p><u>Тема 1.2. Степінь чорноти вуглекислого газу і водяної пари. Радіаційні характеристики та інтегральна поглинальна спроможність CO_2, H_2O, CO і SO_2.</u></p> <p>Лекція № 3. Степінь чорноти вуглекислого газу. Степінь чорноти водяної пари. Випромінювання суміші газів. Інтегральна поглинальна спроможність CO_2 і H_2O. Радіаційні характеристики SO_2 і CO. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [1, с. 31 ÷ 45], [7, 12] додаткова – [8]. Завдання на СРС: Закон випромінювання Стефана-Больцмана. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p>
4.	<p><u>Тема 1.3. Радіаційні характеристики дисперсних систем.</u></p> <p>Лекція 4. Параметр дифракції і комплексний показник преломлення. Розсіювання і поглинання в монодисперсній системі сферичних часток. Індикатриса розсіювання. Вплив ефекта розсіювання на поглинальну спроможність системи часток. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [1, с. 45 ÷ 57; 73 ÷ 76], [7, 12] додаткова – [8]. Завдання на СРС: Закон Ламберта. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p>
Розділ 2. Теплове вимірювання факелу.	
5.	<p><u>Тема 2.1. Структура факела і первинні радіаційні характеристики його твердої дисперсної фази.</u></p> <p>Лекція 5. Вплив випромінювання часток золи і коксу на характеристики факела. Показники переломлення і поглинання для часток кокса і вугільного пилу. Вплив елементарного складу палива на радіаційні характеристики факела. Радіаційні властивості твердої дисперсної фази факела. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [1, с. 76 ÷ 85; 92 ÷ 96], [7, 12] додаткова – [8]. Завдання на СРС: Закон випромінювання Віна. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p>
6.	<p><u>Тема 2.2. Степінь чорноти топкової камери і факела при спалюванні твердого палива.</u></p> <p>Лекція 6. Вплив дисперсної фази на теплове випромінювання пиловугільного факела. Основні</p>

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
	<p>характеристики топкового випромінювання. Спектральний розподіл інтенсивності випромінювання часток. Коефіцієнт теплової ефективності екранів. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [1, с. 96 ÷ 100], [7, 12] додаткова – [8]. Завдання на СРС: Закон зміщення Віна. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p>
7.	<p><u>Тема 2.3. Теплове випромінювання сажистого полум'я мазуту і газу. Характеристики теплового випромінювання топкової камери для різних палив і їх комбінацій.</u> Лекція 7. Структура факела при згоранні рідкого газоподібного палива. Комплексний показник переломлення для часток сажі. Спектральна поглинальна спроможність монодисперсної системи часток вуглецю. Індикатриса розсіювання. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [1, с. 114 ÷ 122; 140 ÷ 148], [7] додаткова – [8]. Завдання на СРС: Закон Кірхгофа. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p>
8.	<p>Лекція 8. Характеристики теплового випромінювання топки при згоранні мазуту. Вплив рециркуляції димових газів на температурне поле топкової камери. Характеристики теплового випромінювання топки при роботі на природному газі. Характеристики теплового випромінювання топки при спільному згоранні мазуту і природного газу. Характеристики теплового випромінювання топки при спільному згоранні газу і вугільного пилу. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [1, с. 140 ÷ 156], [7] додаткова – [8]. Завдання на СРС: Рівняння переносу енергії випромінювання. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p>
Розділ 3. Сумарний теплообмін в топковій камері.	
9.	<p><u>Тема 3.1. Основи інженерних методів розрахунку.</u> Лекція 9. Фактори, які впливають на теплообмін в топковій камері. Теплові характеристики топкової камери. Розрахунок теплообміну в однокамерних топках за методом ЦКТІ. Теплофізичні властивості продуктів згорання органічного палива. Вплив оптичних властивостей і теплопровідності на теплообмін в газах. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [2, с. 62 ÷ 65] [1, с. 156 ÷ 169], [7] додаткова – [8].</p>
10.	<p>Лекція 10. Кутовий коефіцієнт екранів, вплив геометричних характеристик на його величину. Вплив положення факела в топці на її температурне поле. Коефіцієнт послаблення процесів топкових газів. Теплове напруження топкової камери. Особливості розрахунку напіввідкритих топкових камер. Середні інтегральні коефіцієнти поглинання. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [2, с. 63 ÷ 72], [1, с. 156 ÷ 169], [7] додаткова – [8].</p>
11.	<p><u>Тема 3.2. Тепловий опір та радіаційні характеристики шару забруднень на екранних трубах.</u> Лекція 11. Механізм утворення патрубних відкладень. Механічні властивості і хімічний склад забруднень. Перенос теплоти в шарі відкладень. Поглинальна спроможність поверхні патрубних забруднень. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора.</p>

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
	<p>Література: основна – [1, с. 169 ÷ 178], [12] додаткова – [8]. Завдання на СРС: Теплообмін через плоску одно- і багат шарову стінку. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p>
12.	<p><u>Тема 3.3. Передача енергії випромінювання в об'ємі топкової камери з випромінюючими і відбиваючими стінками.</u></p> <p>Лекція 12. Спектральна інтенсивність падаючого випромінювання. Умови локальної термодинамічної рівноваги. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [1, с. 178 ÷ 181], [7] додаткова – [8]. Завдання на СРС: Теплообмін через циліндричну одно- і багат шарову стінку. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p>
13.	<p>Лекція 13. Основні радіаційні характеристики неізотермічного випромінюючого шару з відбиваючими і випромінюючими стінками. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [1, с. 178 ÷ 181], [7] додаткова – [8]. Завдання на СРС: Підготовка до модульної контрольної роботи. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p>
14.	<p><u>Тема 3.4. Коефіцієнт теплової ефективності екранів. Ефективна степінь чорноти неізотермічного плоского шару.</u></p> <p>Лекція 14. Фізичний зміст коефіцієнта теплової ефективності. Залежність коефіцієнта теплової ефективності від фізичних властивостей шару забруднень і продуктів згорання. Характеристика температурного стрибка на кордоні факел-стінка. Ефективна степінь чорноти неізотермічного плоского шару. Вплив розсіювання випромінювання на умови теплообміну в топці. Модульна контрольна робота, частина I Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [1, с. 181 ÷ 192], [12] додаткова – [8]. Завдання на СРС: Теплопередача через багат шарові плоскі і циліндричні стінки. ГУ третього роду. Література: основна – [1] додаткова – [8].</p>
Розділ 4. Розрахунок основних розмірів топкової камери.	
15.	<p><u>Тема 4.1. Розрахунок розмірів зони активного горіння в топках з рідким і твердим шлаковидаленням.</u></p> <p>Лекція 15. Умови, від яких залежить відкладення шлаку на екранних поверхнях. Секціонування топкової камери за умовами процесу згорання твердого палива. Допустиме значення теплового напруження променевої поверхні. Можливості регулювання температури в зоні активного горіння. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [3, с. 33 ÷ 40], [12] додаткова – [3].</p>
16.	<p>Лекція 16. Функції зони активного горіння в топкових камерах з рідким шлаковидаленням. Основні конструктивні та режимні показники роботи зони активного горіння. Конструкція шипових екранів і методика їх розрахунку. Відновлення шипових екранів. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [3, с. 40 ÷ 43; 126 ÷ 133], [12] додаткова – [8].</p>

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
	Завдання на СРС: Інтенсифікація теплообміну в оребрених поверхнях нагріву. Література: основна – [1] додаткова – [8].
17.	<u>Тема 4.2. Розрахунок вигоряння пиловугільного факелу і об'єму топкової камери з урахуванням вимог процесу горіння.</u> Лекція 17. Фактори, які впливають на об'єм топкової камери парових котлів. Масообмін при згорянні частки твердого палива. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [3, с. 43 ÷ 59], [12] додаткова – [7].
18.	Лекція 18. Методика розрахунку часу згорання частки твердого палива. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [3, с. 43 ÷ 59], [12] додаткова – [7]. Завдання на СРС: Фізико-хімічні властивості твердого палива. Література: основна – [1] додаткова – [8].
19.	<u>Тема 4.3. Температура газів на виході з топкової камери.</u> Лекція 19. Вимоги для запобігання шлакування напіврадіаційних і конвективних поверхонь нагріву. Властивості шару відкладень, умови саморозшлакування. Зниження температури на виході з топкової камери за допомогою рециркуляції газів. Зменшення теплової розвірки. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [3, с. 59 ÷ 70], [5] додаткова – [3]. Завдання на СРС: Властивості золових часток і шлаку в рідкому стані. Література: основна – [1] додаткова – [8].
20.	<u>Тема 4.4. Розрахунок топкової камери при згорянні газу і мазуту.</u> Лекція 20. Теплове напруження топкової камери газомазутних парових котлів. Особливості підготовки газу до спалювання в камерних топках. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [3, с. 70 ÷ 74] додаткова – [12].
21.	Лекція 21. Розміри факела і його розташування в топковій камері. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [3, с. 70 ÷ 74] додаткова – [12]. Завдання на СРС: Кінетика горіння рідкого палива. Література: основна – [1] додаткова – [8].
22.	Лекція 22. Степінь вигоряння палива в зоні активного горіння. Розміри факела пальників при роботі на газу. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [3, с. 70 ÷ 74] додаткова – [12]. Завдання на СРС: Кінетика горіння газоподібного палива. Література: основна – [1] додаткова – [8].
23.	<u>Тема 4.5. Позонний розрахунок топкової камери.</u> Лекція 23. Теплогідравлічні процеси в топкових екранах. Умови роботи екранних поверхонь нагріву, кризи кипіння. Методика позонного розрахунку топкової камери. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора.

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
	Література: основна – [4] додаткова – [8]. Завдання на СРС: Умови виникнення криз кипіння I і II роду. Література: основна – [1] додаткова – [8].
24.	<u>Тема 4.6. Конструкції топкових камер і пальників для спалювання вугільного пилу.</u> Лекція 24. Топкові пристрої з зустрічним і фронтальним розташуванням пальників. Топкові пристрої з вихровими пальниками. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [3] с.99-124 додаткова – [12]. Завдання на СРС: Принципи підготовки твердого палива до спалювання Література: основна – [1] додаткова – [8].
25.	Лекція 25. Особливості конструкції топкових камер з рідким шлаковидаленням. Особливості конструкції зони горіння, конструкція ошипованих екранів і методика їх розрахунків. Особливості конструкції топкових камер з твердим шлаковидаленням. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [3] с.125-141 додаткова – [12]. Завдання на СРС: Фізико-хімічні властивості шлаків. Література: основна – [1] додаткова – [8].
26.	<u>Тема 4.7. Утворення і методи зниження кількості оксидів азоту.</u> Лекція 26. Нормативи викидів оксидів азоту. Джерела і механізм утворення оксидів азоту при спалюванні органічних палив. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [3] с.88-99 додаткова – [7]. Завдання на СРС: Підготовка до контрольної роботи Література: основна – [1] додаткова – [8].
27.	Лекція 27. Технологічні методи по зниженню рівню викидів оксидів азота в камерних топках. Кінетика утворення продуктів згорання органічного палива і їх склад. Модульна контрольна робота, частина II Лекція супроводжується показом відповідних таблиць і рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [3] с.88-99 додаткова – [7].

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
Розділ 1. Теплове випромінювання газоподібних продуктів спалювання.	
<i>Тема 1.2.</i> Степінь чорноти вуглекислого газу і водяної пари. Радіаційні характеристики та інтегральна поглинальна спроможність CO_2 , H_2O , CO і SO_2 .	
1.	Визначення радіаційних характеристик складових продуктів згорання органічного палива. Література: основна – [1, с. 31 ÷ 45], [7, 12] додаткова – [8].
Розділ 2. Теплове вимірювання факелу.	
<i>Тема 2.1.</i> Структура факела і первинні радіаційні характеристики його твердої дисперсної фази. <i>Тема 2.2.</i> Степінь чорноти топкової камери і факела при спалюванні твердого палива.	
2.	Визначення складових продуктів згорання твердого палива і їх значення оптичних констант і товщину шару поглинання. Визначення степінь чорноти факела при згоранні твердого палива.

	Література: основна – [1, с. 76 ÷ 85; 92 ÷ 96], [1, с. 96 ÷ 100], [7, 12], [7, 12] додаткова – [8].
<i>Тема 2.3. Теплове випромінювання сажистого полум'я мазуту і газу.</i>	
Характеристики теплового випромінювання топкової камери для різних палив і їх комбінацій.	
3.	Визначення оптичних характеристик продуктів згоряння рідкого (мазуту). Література: основна – [1, с. 114 ÷ 122; 140 ÷ 148], [7] додаткова – [8].
4.	Визначення оптичних характеристик продуктів згоряння газоподібного (природного газу) палива. Література: основна – [1, с. 114 ÷ 122; 140 ÷ 148], [7] додаткова – [8].
Розділ 3. Сумарний теплообмін в топковій камері.	
<i>Тема 3.1. Основи інженерних методів розрахунку.</i>	
5.	Інженерні методи розрахунку. Література: основна – [1, с. 169 ÷ 178], [12] додаткова – [8].
<i>Тема 3.2. Тепловий опір та радіаційні характеристики шару забруднень на екранних трубах.</i>	
6.	Визначення теплового опору та радіаційних характеристик шару забруднень на екранних трубах. Література: основна – [1, с. 169 ÷ 178], [12] додаткова – [8].
<i>Тема 3.3. Передача енергії випромінювання в об'ємі топкової камери з випромінюючими і відбиваючими стінками.</i>	
7.	Визначення спектральної інтенсивності ефективного випромінювання стінки. Література: основна – [1, с. 169 ÷ 178], [12] додаткова – [8].
<i>Тема 3.4. Коефіцієнт теплової ефективності екранів. Ефективна степінь чорноти неізотермічного плоского шару.</i>	
8.	Визначення коефіцієнту теплової ефективності екранів. Література: основна – [1, с. 181 ÷ 192], [12] додаткова – [8].
Розділ 4. Розрахунок основних розмірів топкової камери.	
<i>Тема 4.1. Розрахунок розмірів зони активного горіння в топках з рідким і твердим шлаковидаленням.</i>	
9.	Визначення теплонапруження теплового об'єму і перерізу топкової камери. Визначення площу стін та екранів топкової камери.
10.	Визначення характерної температури продуктів згоряння в топковій камері ($T_a, T_\phi; t_a, t_c, v_T''$).
11.	Визначення впливу геометричних характеристик екрану ($d; S/d; x$) на теплообмін в топковій камері.
12.	Визначення впливу геометричних характеристик екрану ($d; S/d; x$) на теплообмін в топковій камері.
13.	Розрахунок температури продуктів згоряння на виході з топкової камери.
<i>Тема 4.2. Розрахунок вигорання пиловугільного факелу і об'єму топкової камери з урахуванням вимог процесу горіння.</i>	
<i>Тема 4.5. Позонний розрахунок топкової камери.</i>	
14.	Визначення впливу газів рециркуляції на температурне поле TO . Література: основна – [3, с. 33 ÷ 40], [12] додаткова – [3].
15.	Визначення впливу газів рециркуляції на температурне поле TO . Література: основна – [3, с. 33 ÷ 40], [12] додаткова – [3].
<i>Тема 4.5. Позонний розрахунок топкової камери.</i>	
16.	Виконання позонного розрахунку топкової камери Література: основна – [1, с. 181 ÷ 192], [12] додаткова – [8].
17.	Виконання позонного розрахунку топкової камери Література: основна – [1, с. 181 ÷ 192], [12] додаткова – [8].
18.	Залік

6. Самостійна робота

Для опанування матеріалу дисципліни передбачено виконання завдань на самостійне опрацювання матеріалу. Завдання СРС видаються після кожної лекції, строк задачі завдання – не пізніше ніж через тиждень.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- обов'язкове відвідування лекцій, а також готовність відповідей при опитуванні;
- необхідне виконання таких вимог: активність, підготовка коротких доповідей чи текстів, відключення мобільних телефонів; відповідно до завдання викладача використання засобів зв'язку для пошуку інформації в Інтернеті;
- заохочувальні бали надаються у відповідності до «системи оцінювання результатів», штрафні бали є засобом протидії плагіату та несамостійному виконанню робіт;
- політика дедлайнів та перескладань полягає у виконанні поточних модульних робіт і реферату до початку сесії;
- політика щодо академічної доброчесності відповідає загальним положенням, прийнятим у «КПІ ім. Сікорського» (детальніше: <https://kpi.ua/code>);
- політика навчальної дисципліни спрямована на розвиток індивідуальних здібностей в напрямку набуття компетентностей щодо створення та модернізації сучасних енергетичних систем, унікального обладнання в енергетичній галузі, а також в напрямку розширення сфер застосування отриманих знань, умінь і досвіду.
- за бажанням студентів, допускається вивчення матеріалу за допомогою англійських онлайн-курсів за тематикою, яка відповідає тематиці конкретних занять.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Види контролю знань студентів з дисципліни:

- відповіді на практичних заняттях;
- виконання МКР (дві частини);
- відповідь на заліку – максимально 45 балів.

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, які він отримує за:

- 1) чотири відповіді в середньому кожного студента на лекційних і практичних заняттях (на одному занятті опитуються приблизно 1 студент; при середній чисельності групи 15 осіб і сімдесят занять отримуємо: $1 \cdot 70 / 15 \approx 5$ відповідей);
- 2) виконання завдань СРС;
- 3) виконання однієї МКР;
- 4) відповідь на заліку при виконанні умов допуску і бажанні студента підвищити оцінку.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання

1. Робота на заняттях

Ваговий бал — 5. Максимальна кількість балів студента на всіх заняттях: $r_1 = 5 \text{ балів} \times 5 = 25$ балів.

Критерії оцінювання:

5 балів — повна вірна відповідь на поставлене запитання; **4 бали** — відповідь має несуттєві помилки; **3 бали** — неповна відповідь; **2 бали** — наявність несуттєвих помилок в неповній відповіді, **1 бал** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді, **0 балів** — відсутність відповіді.

2. Виконання завдань СРС

Лекційні заняття

Ваговий бал — 1. Максимальна кількість балів студента тридцять завдань (завдання СРС видаються після лекції, строк задачі завдання – не пізніше ніж через тиждень): $r_2=1 \text{ бал} \times 21 = 21 \text{ бал}$. Виконане завдання надається викладачу у вигляді конспекту, виконання завдань СРС обов'язкове.

Критерії оцінювання:

1 бал — в повному об'ємі і вчасно надане завдання; **0 балів** — не вчасно надане завдання.

Штрафні бали:

— несвоєчасне представлення виконаного завдання СРС без поважної причини (хвороба) — **1 бал**.

Практичні заняття

Ваговий бал — 2. Максимальна кількість балів студента сімнадцять завдань (завдання СРС видаються після практичного заняття, строк задачі завдання – не пізніше ніж через тиждень): $r_3=2 \text{ бал} \times 17 = 34 \text{ бали}$. Виконане завдання надається викладачу у вигляді конспекту, виконання завдань СРС обов'язкове.

Критерії оцінювання:

2 бали — в повному об'ємі, вчасно і вірно виконане завдання; **1 бал** — в повному об'ємі, вчасно але з несуттєвими недоліками виконане завдання; **0 балів** — не вчасно, або не вірно виконане завдання.

Штрафні бали:

— несвоєчасне представлення виконаного завдання СРС без поважної причини (хвороба) — **1 бал**.

3. Модульна контрольна робота (МКР)

Проводиться дві частини МКР. Ваговий бал кожної частини — 5. Максимальна кількість балів за МКР дорівнює $r_3=5 \times 2 = 10 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання:

5 балів — повна вірна відповідь на завдання; **4 бали** — відповідь має несуттєві помилки; **3 бали** — неповна відповідь; **0...2 балів** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді, МКР не зараховано.

5. Відповіді на заліку

Залік проводиться у письмово-усній формі. Залікове завдання складається з двох теоретичних питань і одного практичного завдання. Перелік питань наведений у додатку до силабусу дисципліни. Завдання залікової роботи оцінюються по 15 балів. Тобто, максимальна кількість балів за виконане завдання $15+15+15 = 45 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання:

Кожне питання екзаменаційної роботи оцінюється згідно до системи оцінювання:

— правильне раціональне рішення, або повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) — **13...15 балів**;

— достатньо повна відповідь, правильне рішення (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) — **10...12 балів**;

— неповна відповідь, рішення з помилками (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) — **7...9 балів**;

— незадовільна відповідь, або відсутність рішення (менше 60% потрібної інформації та помилки) — менше **6 балів**.

Штрафні бали:

— додаткове питання з тем лекційного курсу та практичних занять отримують студенти, які не брали участі у роботі певного заняття. Незадовільна відповідь з додаткового питання знижує загальну оцінку на **3 бали**.

Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (R_d):

Сума вагових балів контрольних заходів в семестрі (стартовий рейтинг) складає:

$$R_i = r_1 + r_2 + r_3.$$

де r_i — рейтингові або вагові бали за кожний вид робіт з дисципліни.

Максимально можливий стартовий рейтинг: $R_c = 25+21+34+20 = 100$ балів.

Необхідною умовою допуску до заліку є позитивна оцінка з виконання всіх завдань СРС та стартовий рейтинг не менше $0,25 \times R_c = 25$ балів.

Якщо в продовж семестру студент отримав більше 75 балів, він має право отримати оцінку «автоматом» згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою (див. нижче)

Студенти, які набрали в семестрі рейтинг з дисципліни менше, ніж 25 балів або не виконали умов допуску на залік, зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до заліку з цієї дисципліни і мають академічну заборгованість.

Залікова складова R_3 шкали дорівнює: $R_3 = 45$ балів (не враховуються бали за відповіді на заняттях і МКР)

Таким чином, максимальна кількість балів при здачі заліку за рейтинговою шкалою з дисципліни складає

$$R_D = R_c + R_3 = 65 + 45 = 100 \text{ балів.}$$

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами.

Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Детальніше: <https://kpi.ua/code>).

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

1. Дистанційне навчання:

В умовах дистанційного режиму організація освітнього процесу здійснюється з використанням технологій дистанційного навчання: платформи дистанційного навчання «Сікорський» та «Електронний кампус». Навчальний процес у дистанційному режимі здійснюється відповідно до затвердженого розкладу навчальних занять. Заняття проходять з використанням сучасних ресурсів проведення онлайн-зустрічей (організація відео-конференцій на платформі zoom).

2. Для студентів існує можливість зарахування (у вигляді додаткових балів до рейтингу до 20 балів):

- сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни;
- сертифікатів, які підтверджують участь у науково–практичних і наукових конференціях за тематикою дисципліни;
- публікація статті у науковому журналі за тематикою дисципліни.

Додаток 1

Список теоретичних до модульної контрольної роботи

Частина I

1. Спектральні радіаційні характеристики вуглекислого газу та водяної пари.
2. Степінь чорноти вуглекислого газу та водяної пари. Радіаційні характеристики та інтегральна поглинальна спроможність CO_2 , H_2O , CO і SO_2 .
3. Радіаційні характеристики дисперсних систем.
4. Структура факела і первинні радіаційні характеристики його твердої дисперсної фази.
5. Степінь чорноти топкової камери і факела при спалюванні твердого палива.
6. Теплове випромінювання сажистого полум'я мазуту і газу. Характеристики теплового випромінювання топкової камери для різних палив і їх комбінацій.
7. Основи інженерних методів розрахунку.
8. Тепловий опір та радіаційні характеристики шару забруднень на екранних трубах.
9. Передача енергії випромінювання в об'ємі топкової камери з випромінюючими і відбиваючими стінками.
10. Коефіцієнт теплової ефективності екранів. Ефективна степінь чорноти неізотермічного плоского шару.

Частина II

1. Розрахунок розмірів зони активного горіння в топках з твердим і рідким шлаковидаленням. Конструкція шипових екранів і їх розрахунок.
2. Розрахунок вигорання пиловугільного факелу і об'єми топкової камери з урахуванням вимог процесу горіння.
3. Температура газів на виході з топкової камери.
4. Розрахунок топкової камери при спалюванні газу і мазуту.

Додаток 2

Список теоретичних питань на екзамен

1. Вимоги до топкових пристроїв ПК, які працюють на твердому паливі
2. Вимоги до топкових пристроїв ПК, які працюють на рідкому та газоподібному паливі.
3. Порядок розрахунку топкових пристроїв ПК, що працюють на твердому паливі.
4. Порядок розрахунку топкових пристроїв ПК, що працюють на рідкому і газоподібному паливі.
5. Характерні температури топок з рідким шлаковидаленням.
6. Характерні температури топок з твердим шлаковидаленням
7. Характерні температури топок на газі і мазуті.
8. Степінь чорноти топкової камери і її теплонапряга.
9. Об'єм топкової камери і її теплонапряга.
10. Пальники для твердих палив та їх розміщення в топці.

11. Пальники для рідких і газоподібних палив та їх розміщення в топці
12. Шарове спалювання твердих палив
13. Камерні топки для спалювання твердих палив
14. Камерні топки для спалювання рідких і газоподібних палив.
15. Радіаційні характеристики CO_2 .
16. Радіаційні характеристики H_2O
17. Методика позонного розрахунку топкової камери.
18. Вплив параметрів середовища (тиску і температури) на теплообмін випромінюванням.
19. Коефіцієнт послаблення променів топкових газів для рідких і газоподібних палив.
20. Коефіцієнт ослаблення променів топкових газів для твердих палив
21. Коефіцієнт теплової ефективності ошипованих екранів
22. Коефіцієнт теплової ефективності екранів.
23. Кутовий коефіцієнт екрана.
24. Абсолютно чорне тіло.
25. Закон випромінювання Планка.
26. Закон випромінювання Ламберта.
27. Закон Кірхгофа
28. Закон випромінювання Вина.
29. Закон випромінювання Стефана-Больцмана.
30. Перенесення енергії випромінюванням.
31. Фактори, що визначають розміри зони активного горіння в топках з твердим шлаковидаленням.
32. Фактори, що визначають розміри зони активного горіння в топках з рідким шлаковидаленням.
33. Безшлаковочна робота топкових екранів.
34. Методика визначення вигорання пиловугільного факела.
35. Визначення об'єму топкової камери з урахуванням типу палива та схеми паливоприготування, особливостей палива.
36. Фактори, що визначають температуру газів на виході з топкової камери і методи її регулювання при роботі на твердому паливі.
37. Фактори, що визначають температуру газів на виході з топкової камери і методи її регулювання при роботі на рідкому і газоподібному паливі.
38. Розміри факела і його розташування в котельній камері при роботі на газі і мазуті.
39. Повітряний баланс топкового пристрою. Фактори, що визначають вибір горілчаного пристрою.
40. Корозія поверхонь нагріву і заходи її попередження.
41. Джерела і механізм утворення оксидів азоту при спалюванні органічних палив.
42. Технологічні методи зниження освіти NO_x в камерних топках пиловугільних котлів
43. Заходи з придушення освіти NO_x в камерних топках пиловугільних котлів. Двоступінчате спалювання.
44. Заходи з придушення освіти NO_x в камерних топках пиловугільних котлів. Триступеневе спалювання.
45. Заходи з придушення освіти NO_x в камерних топках газомазутних котлів. Двоступінчате спалювання.

46. Заходи з придушення освіти NO_x в камерних топках газомазутних котлів. Триступеневе спалювання.
47. Топкові пристрої з прямо струминними пальниками.
48. Топкові пристрої з тангенціальним розташуванням пальників.
49. Особливості конструкцій топків з рідким шлаковидаленням.
50. Конструкція ошипованих екранів і методика їх розрахунку.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено *д.т.н., професором, Тузом Валерієм Омеляновичем*

ас. Федоровим Дмитром Олеговичем

Ухвалено кафедрою АЕС і ІТФ (протокол № 21 від 23.06.2021 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 11 від 24.06.2021 р.)